

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-031510

(43)Date of publication of application : 28.01.2000

(51)Int. CI.

H01L 31/0232

G01J 3/36

(21)Application number : 10-210325

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 09.07.1998

(72)Inventor : TOSHIYOSHI HIROSHI

FUJITA HIROYUKI

MIYAUCHI DAISUKE

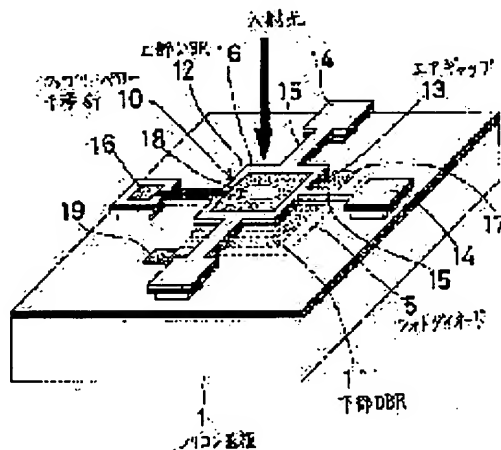
SHINOURA OSAMU

(54) WAVELENGTH SELECTING OPTICAL DETECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain a wavelength selecting detector which is small-sized, increases integration, and is superior in a wavelength distribution power to enhance characteristics of an optical system by providing drive means for variable-controlling a distance apart from first and second distributing Bragg reflectors.

SOLUTION: First, a photodiode 5 is formed on a silicon substrate 1, and a lower DBR (lower distributing Bragg reflector) 11 and an upper DBR (upper distributing Bragg reflector) 12 are sequentially integrated thereunder to constitute a Fabry-Perot interferometer 10. Here, the upper DBR 12 has a membrane structure supported by a flexible arm 15 expanding from four anchors 14 formed on the substrate 1, and a movable side driving electrode 16 is formed on an upper face of the upper DBR 12. Furthermore, a fixing side driving electrode 17 is provided in opposition to the movable side driving electrode 16 on a lower side of the lower DBR 11. A center part on an upper face of the upper distributing Bragg reflector is a transmitting light window 18 for transmitting vertical incident lights on the interferometer 10.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.06.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of

rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-31510

(P2000-31510A)

(43) 公開日 平成12年1月28日 (2000.1.28)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 31/0232

H 0 1 L 31/02

D 2 G 0 2 0

G 0 1 J 3/36

C 0 1 J 3/36

5 F 0 8 8

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-210325

(22) 出願日 平成10年7月9日(1998.7.9)

(71) 出願人 000003067

ティーディーケイ株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72) 発明者 年吉 洋

神奈川県中郡二宮町中里2-16-36-105

(72) 発明者 藤田 博之

東京都豊島区千川1-9-14

(72) 発明者 宮内 大助

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー
ディーケイ株式会社内

(74) 代理人 100079290

弁理士 村井 隆

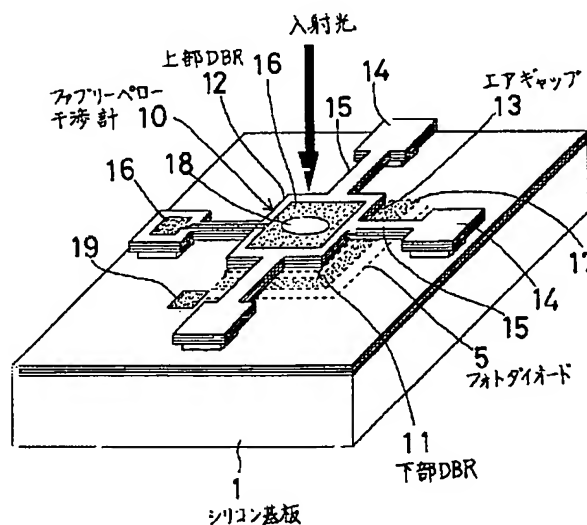
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長選択型光検出器

(57) 【要約】

【課題】 フォトダイオードと、分布型ブラグ反射器からなるファブリーペロー干渉計を波長フィルタとして集積した構造で、小型で集積度が高く、しかも波長分解能に優れた波長選択型光検出器を提供する。

【解決手段】 シリコン基板1に形成されたフォトダイオード5と、該フォトダイオード5上に集積された下部分布型ブラグ反射器11及び上部分布型ブラグ反射器12により構成されるファブリーペロー干渉計10と、前記下部及び上部分布型ブラグ反射器11, 12を隔てる距離を可変制御する駆動用電極16, 17とを備えている。



16, 17: 駆動用電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計と、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる距離を可変制御する駆動手段とを備えたことを特徴とする波長選択型光検出器。

【請求項2】 前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器が、エアギャップを介して隔てられていて、前記駆動手段が前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器間に電圧を印加することにより、前記第2の分布型ブラグ反射器を前記基板側に引き寄せる静電力を発生するものである請求項1記載の波長選択型光検出器。

【請求項3】 前記駆動手段が、可視領域の光を透過する材質で電圧の印加により膜厚を変える圧電膜を有し、該圧電膜が前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器間に中間層として設けられている請求項1記載の波長選択型光検出器。

【請求項4】 シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計とを、前記シリコン基板上にそれぞれ複数配列したことを特徴とする波長選択型光検出器。

【請求項5】 1つの前記フォトダイオードに1つの前記ファブリーペロー干渉計が対応して形成されており、1つの前記フォトダイオードとこれに対応する1つの前記ファブリーペロー干渉計の組が、それぞれ独立して検出波長を選択する構成である請求項4記載の波長選択型光検出器。

【請求項6】 各々のファブリーペロー干渉計を構成する前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器は、中間層を介して隔てられており、各々のファブリーペロー干渉計毎に前記中間層は選択波長に対応した異なる層厚を有している請求項4又は5記載の波長選択型光検出器。

【請求項7】 シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計との組を、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる中間層の層厚を変えて前記シリコン基板に複数配列して複数の波長を検出するセルを構成し、該セルを前記シリコン基板に複数配列したことを特徴とする波長選択型光検出器。

【請求項8】 前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器が、屈折率の異なる2種類の膜のペアを少なくとも4ペア以上積み重ねた多層膜でそれぞれ構成されている請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の波長選択型光検出器。

【請求項9】 前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器は可視領域の光を透過させる材質であり、波長選択された前記可視領域の光を前記フォトダイオードで受光する

請求項1、2、3、4、5、6、7又は8記載の波長選択型光検出器。

【請求項10】 前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を構成する各膜の膜厚が、各々の膜の屈折率 n 、選択する光の波長 λ に対して $\lambda(1+2m)/4n$ （但し、 $m:0$ 又は自然数）であり、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる距離が $\lambda/2n_0$ （但し、 n_0 :前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる媒質の屈折率）である請求項8又は9記載の波長選択型光検出器。

【請求項11】 前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器が、高屈折率のシリコンナイトライド膜と低屈折率のシリコンオキサイド又はシリコンオキシナイトライド膜からなる請求項8、9又は10記載の波長選択型光検出器。

【請求項12】 前記フォトダイオードが、前記シリコン基板にPN接合、又はPIN接合を形成したものである請求項1～11のいずれか1項に記載の波長選択型光検出器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像認識、光スペクトルアナライザ等に用いられる波長フィルタを有する波長選択型光検出器に係り、特にシリコンマイクロマシニングにより作製可能な、感度が優れた波長フィルタを集積化した波長選択型光検出器に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光応用の多くのシステムの高度化、高機能化に伴い、その主要部品である光検出器にも高感度化、高集積化が要求されるようになってきている。

【0003】光情報システムに用いられる典型的な受光素子として、フォトダイオードがよく知られている。フォトダイオードには単純なPN接合を持つフォトダイオード、PINフォトダイオード、アバランシュ・フォトダイオードがある。いずれも光吸収により生じた電子とホールから光電流を取り出すが、それぞれで応答速度が異なる。可視光領域ではシリコン(Si)が用いられる。これと波長フィルタを組み合わせることにより、波長敏感な光検出器が得られると期待される。

【0004】波長フィルタは近年の波長多重通信技術の進展に伴い、非常に注目されている。例えば、米国特許第5,629,951号（以下、従来技術1）には、検出波長を連続的にチューニングするための、静電駆動型カンチレバーによる波長フィルタが開示されている。ここでは、ファブリーペロー干渉計を構成する2つの分布型ブラグ反射器の上側がカンチレバーとなっていて、静電駆動により分布型ブラグ反射器の間隔をコントロールして検出波長を変えている。

【0005】米国特許第5,291,502号（以下、従

来技術2)には、カンチレバーではなく、メンブレンによって構成されている同様のファブリーペロー干渉計が開示されている。

【0006】また、“A FABRY-PEROT MICROINTERFEROMETER FOR VISIBLE WAVELENGTH”, IEEE, MEMS' 92, 1992, PP170-173 (以下、従来技術3)には、可視領域の光に対する、マイクロマシニングによって作製されたファブリーペロー干渉計が示されている。ここではファブリーペロー干渉計は、シリコンナイトライド(SiN)メンブレンによって支持された2枚のミラーからなっており、それら各ミラーは、屈折率が1.44のSiO₂膜と屈折率が1.80のHfO₂膜の多層膜からなっている。

【0007】ファブリーペロー干渉計を用いた変調器も多く検討されている。例えば、“PROCESS AND DESIGN CONSIDERATIONS FOR SURFACE MICROMACHINED BEAMS FOR A TUNABLE INTERFEROMETER ARRAY IN SILICON”, IEEE, MEMS' 93, 1993, PP230-235 (以下、従来技術4)には、フォトダイオード上にファブリーペロー干渉計を集積した高速の光変調器が示されている。ここでは、ファブリーペロー干渉計は、基板上のシリコンオキシサイド(SiO₂) / ポリシリコン(poly-Si)と、poly-Si/SiN/poly-Siからなるメンブレン、及び中間のエアギャップから構成されている。

【0008】“MHZ OPTO-MECHANICAL MODULATOR”, TRANSDUCERS'95, EUROSENSORS IX, 1995, PP289-292 (以下、従来技術5)にも変調器が示されている。ここでは、2.8 Mbit/sec. の変調速度が得られている。ファブリーペロー干渉計は平行な2層のpoly-Siからなっている。

【0009】ところで、光検出機能を必要とするシステムには、例えば光スペクトルアナライザや、固体撮像素子がある。光スペクトルアナライザとしては、フォトダイオードアレイと回折格子を組み合わせたものが一般的である。

【0010】また、固体撮像素子には数十万個から100万個を超す画素が並んでいて、画素毎にフォトダイオードが設けられている。カラー画面は赤、緑、青の3原色に分解され、それぞれの明るさの信号として取り込まれる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、受光素子としてフォトダイオードはよく用いられていて、また、波長フィルタも多くのが検討されているが、フォトダイオードと波長フィルタが集積化されていて、しかも波長分解能が良く、広い波長領域をカバーする光検出器は実現されていない。例えば、前記した従来技術1, 2は検出波長可変の波長フィルタの構成のみを開示しているだけである。

【0012】波長多重通信用に検討されている波長フィルタは、GaAs基板上に集積したAl_{0.09}Ga_{0.91}AsとAl_{0.09}Ga_{0.91}Asの多層膜を分布型ブラグ反射器として用いているため、波長分解能は良いが、可視領域の光を選択して透過させることができない。

【0013】前記した従来技術3の如きSiO₂とHfO₂の多層膜から構成しているファブリーペロー干渉計は、フォトダイオードと集積化されておらず、また、屈折率差が小さいため、波長分解能を上げるためには、積層数をかなり多くする必要がある。

【0014】また、前記した従来技術4, 5の如き光変調器は、単色光に対して、その波長の光を変調するものであって、白色光に対して、波長のバンドパスフィルタリングを実現するものではない。

【0015】ところで、光検出機能を必要とする光スペクトルアナライザの従来の形態では、波長分解能を向上させるためには光路長を大きくとる必要があるためシステム全体を大きくする必要があった。また、固体撮像素子では、光を赤、緑、青の3原色に分解して認識しているので、必ずしも全ての色、すなわち絶対波長を確かに表現しているわけではない。

【0016】本発明は、上記の点に鑑み、フォトダイオードと、分布型ブラグ反射器からなるファブリーペロー干渉計を波長フィルタとして集積した構造で、小型で集積度が高く、しかも波長分解能に優れた波長選択型光検出器を提供することを目的とし、ひいては、この光検出器の利用により光システムの特性向上を実現しようとするものである。

【0017】本発明のその他の目的や新規な特徴は後述の実施の形態において明らかにする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の請求項1の波長選択型光検出器は、シリコン基板上に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計と、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる距離を可変制御する駆動手段とを備えた構成としている。

【0019】本発明の請求項2の波長選択型光検出器は、前記請求項1の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器が、エアギャップを介して隔てられていて、前記駆動手段が前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器間に電圧を印加することにより、前記第2の分布型ブラグ反射器を前記基板側に引き寄せる静電力を発生するようになっている。

【0020】本発明の請求項3の波長選択型光検出器は、前記請求項1の構成において、前記駆動手段が、可視領域の光を透過する材質で電圧の印加により膜厚を変える圧電膜を有し、該圧電膜が前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器間に中間層として設けられている。

【0021】本発明の請求項4の波長選択型光検出器は、シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラッグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計とを、前記シリコン基板上にそれぞれ複数配列した構成である。

【0022】本発明の請求項5の波長選択型光検出器は、前記請求項4の構成において、1つの前記フォトダイオードに1つの前記ファブリーペロー干渉計が対応して形成されており、1つの前記フォトダイオードとこれに対応する1つの前記ファブリーペロー干渉計の組が、それぞれ独立して検出波長を選択するようにしている。

【0023】本発明の請求項6の波長選択型光検出器は、前記請求項4の構成において、各々のファブリーペロー干渉計を構成する前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器は、中間層を介して隔てられており、各々のファブリーペロー干渉計毎に前記中間層は選択波長に対応した異なる層厚を有しているものである。

【0024】本発明の請求項7の波長選択型光検出器は、シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラッグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計との組を、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器を隔てる中間層の層厚を変えて前記シリコン基板に複数配列して複数の波長を検出するセルを構成し、該セルを前記シリコン基板に複数配列した構成としている。

【0025】本発明の請求項8の波長選択型光検出器は、前記請求項1、2、3、4、5、6又は7の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器が、屈折率の異なる2種類の膜のペアを少なくとも4ペア以上積み重ねた多層膜でそれぞれ構成されているものである。

【0026】本発明の請求項9の波長選択型光検出器は、前記請求項1、2、3、4、5、6、7又は8の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器が可視領域の光を透過させる材質であり、波長選択された前記可視領域の光を前記フォトダイオードで受光するものである。

【0027】本発明の請求項10の波長選択型光検出器は、前記請求項8又は9の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器を構成する各膜の膜厚を、各々の膜の屈折率 n 、選択する光の波長 λ に対して $\lambda(1+2m)/4n$ （但し、 m ：0又は自然数）とし、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器を隔てる距離を $\lambda/2n_0$ （但し、 n_0 ：前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器を隔てる媒質の屈折率）としている。

【0028】本発明の請求項11の波長選択型光検出器は、前記請求項8、9又は10の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器が、高屈折率のシリコンナイトライド膜と低屈折率のシリコンオキサイド又は

シリコンオキシナイトライド膜からなっている。

【0029】本発明の請求項12の波長選択型光検出器は、前記請求項1～11のいずれかの構成において、前記フォトダイオードが、前記シリコン基板にPN接合、又はPIN接合を形成したものである。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る波長選択型光検出器の実施の形態を図面に従って説明する。

【0031】図1は本発明に係る波長選択型光検出器の第1の実施の形態であって、概略斜視図であり、図2（E）はその断面図である。シリコン（Si）基板1にまずフォトダイオード5を形成し、この上に下部分布型ブラッグ反射器（下部DBR）11と、エアギャップ13を介して上部分布型ブラッグ反射器（上部DBR）12とを順次集積してファブリーペロー干渉計10を構成している。ここで、上部分布型ブラッグ反射器12は、基板1上に形成された4箇所のアンカー14から伸びた可撓性アーム15で支持されたメンブレン構造となっており、上部分布型ブラッグ反射器12上面には可動側駆動用電極16が形成されている。また、下部分布型ブラッグ反射器11の下側には固定側駆動用電極17が前記可動側駆動用電極16に対向して設けられる。上部分布型ブラッグ反射器12の上面中央部は、ファブリーペロー干渉計10に垂直な入射光を透過させるために可動側駆動用電極16の形成されていない透過光窓18となっている（固定側駆動用電極17にも同様に透過光窓を形成してある。）。

【0032】なお、前記可動側駆動用電極16の延長部分は1個のアンカー14の上面に引き出されている。また、前記フォトダイオード5は例えばSi基板1にPN接合を形成したものであり、フォトダイオード5に接続する光電流検出用電極19が基板上面に引き出されている。

【0033】前記上部分布型ブラッグ反射器12に設けられた可動側駆動用電極16と、下部分布型ブラッグ反射器11に設けられた固定側駆動用電極17とは、下部分布型ブラッグ反射器11と上部分布型ブラッグ反射器12を隔てる距離を可変制御する駆動手段としての静電アクチュエータを構成しており、可動側及び固定側駆動用電極16、17間への電圧の印加により上部分布型ブラッグ反射器12を静電力で基板側に引き寄せて、エアギャップ13を調整できる。ここで、透過光の波長 λ とエアギャップ間隔 t は、ギャップ間の媒質（この場合空気）の屈折率を n_0 として $t = \lambda/2n_0$ の関係を持ち、これよりギャップの調整で透過光の波長を選択することができる。

【0034】次に、図2を用いて第1の実施の形態である波長選択型光検出器の製造方法について記述する。

【0035】まず、図2（A）のように n 型Si（100）基板1を熱酸化し、100nmのシリコンオキサイド（SiO₂）層21を熱酸化膜として表面に形成す

る。この SiO_2 層は、後のプロセスでアライメントを可能とするパターンになる。続いて、同図(B)の如くフォトレジスト22を塗布した後、露光、現像して後のイオン注入工程のためのパターンを形成する。そして、所定パターンのフォトレジスト22をマスクとして、ホウ素(B)を注入し、フォトダイオードとなるべきPN接合23を形成する。注入条件は、 BF_2^+ イオンを55 keVで、ドーズ量は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ とした。この後イオン拡散のために通常であれば熱処理を行うが、本実施の形態では後に高温での長時間の成膜があるので、熱処理工程は省略できる。なお、固定側駆動用電極17として、フォトダイオードとなる部分の上面にイオンのドーズ量を過大として導電性を持たせた部分を形成しておく。

【0036】本実施の形態では、フォトダイオード自体の特性は特に考慮していないので、前述のように単純なPN接合フォトダイオードとしているが、もちろんフォトダイオード自体の応答速度を良くするため、PINフォトダイオードを形成して用いることもできる。

【0037】続いて、図2(C)のように、マスクのフォトレジストを除去した後、下部分布型ブラグ反射器11及び上部分布型ブラグ反射器12をLPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) により順次成膜して集積する。これらの分布型ブラグ反射器11、12は同図(C)の断面拡大図に示すように屈折率が2.0のシリコンナイトライド(SiN)膜24と屈折率が1.5のシリコンオキサイドナイトライド(SiON)膜25とをそれぞれ複数ペア成膜した多層膜からなっている。同図では6ペアとしている。また、下部分布型ブラグ反射器11と基板1間には低屈折率のバッファ層28が SiON 膜で形成されている。これらの分布型ブラグ反射器11、12を構成する各膜の膜厚は、透過させる光の中心波長 λ に対して、 $\lambda(1+2m)/4n$ から導いている(但し、 n : 各々の膜の屈折率、 m : 0又は自然数)。ここでは638 nmを電圧をかけていないときの波長中心としているので、 $\lambda/4n$ より SiN 膜24を79.8 nm、 SiON 膜25を106.3 nm成膜している。LPCVDの成膜条件は、850°C、0.5 Torrで、 SiN 膜は SiH_4 、 NH_3 を原料ガスとして、 SiON 膜は SiH_4 、 NH_3 、 N_2O を原料ガスとしてそれぞれ成膜する。中間層26には、後にエアギャップ(図1の符号13)を形成するため、 $\lambda/2n_0$ (エアギャップにするため $n_0=1$)より算出した膜厚のpoly-Si膜を犠牲層として成膜する。成膜はやはりLPCVDで行う。成膜条件は、600°C、1.0 Torrで、 SiH_4 を原料ガスとして成膜する。このpoly-Si膜は後に、図2(D)の如く上側の分布型ブラグ反射器12をメンブレンにパターンニングした後、TMAH (テトラ・メチル・アンモニウム・ハイドロオキシド) 水溶液によりエッチングされエアギャ

ップ13を形成する。上側の分布型ブラグ反射器12のエッチングはBHF (バッファードフッ酸)で行うことができるが、 SiN 膜のエッチング速度が遅いので、 SiN 膜にはRIE (Reactive ion etching)を組み合わせたことも可能である。

【0038】そして、光検出の電極用スルーホール27を、フォトレジストをマスクとして図2(E)の如くRIEにより形成する。さらに、光電流検出用電極19と可動側駆動用電極16としてAuをスパッタにより成膜する。ここで、上部分布型ブラグ反射器12のAuは、光が透過する部分(窓18)からは除去するようにパターンニングとエッチングを行う。なお、フォトダイオード表面の固定側駆動用電極17も同様に光の透過する部分には形成されないようにしている。

【0039】次に、第1の実施の形態でフォトダイオード5上に集積一体化したファブリーペロー干渉計10の波長特性について記述する。

【0040】図3は透過光スペクトルのペア数依存性を示すものであり、ファブリーペロー干渉計10のミラー(下部分布型ブラグ反射器11及び上部分布型ブラグ反射器12)の屈折率が高い膜(SiN 膜24)と低い膜(SiON 膜25)のペアを積み重ねた効果について示している。つまり、多層膜の積層数が増すに従って、波長分解能が向上することが確認される。

【0041】図4はエアギャップ13を調整したときの透過光強度と波長との関係であり、可視光領域においてエアギャップを変化させたときのスペクトルの移動を示している。なおここでは、各分布型ブラグ反射器は10ペアの多層膜としている。波長614 nmから637 nmまでの間8点を、ギャップを283.5 nmから327.6 nm迄変えることによって調整している。図4からまず、半値幅1 nmの波長分解能に優れた波長フィルタであることが確認される。透過光をフォトダイオードで検出することにより、波長選択して光信号を電気信号として検出することができる。

【0042】この第1の実施の形態によれば、次の通りの効果を得ることができる。

【0043】(1) Si 基板1に形成されたフォトダイオード5と、該フォトダイオード上に集積された下部及び上部の分布型ブラグ反射器11、12により構成されるファブリーペロー干渉計10と、分布型ブラグ反射器11、12を隔てる距離を可変制御する駆動手段(可動側駆動用電極16、固定側駆動用電極17)とを備えており、可動側駆動用電極16、固定側駆動用電極17間に電圧を印加して静電力を発生させ、下部及び上部の分布型ブラグ反射器11、12を隔てる距離を制御することにより、検出する光の波長選択が可能である。

【0044】(2) 下部及び上部の分布型ブラグ反射器11、12は、屈折率の異なる2種類の膜、つまり、屈折率が2.0のシリコンナイトライド(SiN)膜24

と屈折率が1.5のシリコンオキシドナイトライド(SiON)膜25をそれぞれ複数ペア成膜した多層膜で構成されており、成膜ペア数を変えることにより、波長分解能を変えることができる。また、図3から判るように少なくとも4ペア以上積み重ねた多層膜でそれぞれ構成することで、適切な波長分解能を得ることができる。

【0045】(3) 分布型ブラグ反射器11, 12はSiN膜24とSiON膜25との積層構造で、可視領域の光を透過させる材質であり、波長選択された可視領域の光をフォトダイオード5で受光することができる。

【0046】(4) 分布型ブラグ反射器11, 12を構成する各膜24, 25の膜厚が、各々の膜の屈折率 n 、選択する光の波長 λ に対して $\lambda(1+2m)/4n$ (但し、 $m:0$ 又は自然数)であり、分布型ブラグ反射器11, 12を隔てる距離 $=\lambda/2n_0$ (但し、 n_0 :前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる媒質の屈折率)となる波長を選択してフォトダイオード5で受光する。従って、分布型ブラグ反射器11, 12間のエアギャップ13を、静電力による駆動手段、つまり可動側駆動用電極16及び固定側駆動用電極17間に電圧を印加することにより任意に制御でき、上部分布型ブラグ反射器12を基板側に引き寄せて選択波長を連続的に変化させることができる。

【0047】上記第1の実施の形態では、駆動用電極16, 17間に電圧を印加してエアギャップ13を調整し、透過する波長を選択しているが、エアギャップ13を可視領域の光を透過する透明な圧電膜に置き換え、圧電膜を下部分布型ブラグ反射器11及び上部分布型ブラグ反射器12間の中間層として設け、該圧電膜に電圧を印加し、膜厚あるいは屈折率を調整することで透過する波長を選択する構成としてもよい。

【0048】図5は、本発明の第2の実施の形態であって、下部及び上部分布型ブラグ反射器41, 42からなるファブリーペロー干渉計40を、Si基板31に形成した複数のフォトダイオード35上にそれぞれ集積した、小型光スペクトルアナライザの概略を示している。

【0049】ここでは、1つのフォトダイオード35に下部分布型ブラグ反射器41及び上部分布型ブラグ反射器42の組からなる1つのファブリーペロー干渉計40が対応して形成されており、ファブリーペロー干渉計40を8個のアレイにし、個々のファブリーペロー干渉計で、各々の透過光窓48を通してそれぞれ異なる波長 $\lambda_1 \sim \lambda_8$ の光を個々独立に選択し、対応するフォトダイオード35で検出するようにしている。下部分布型ブラグ反射器41、上部分布型ブラグ反射器42間はエアギャップではなく、固定層厚の中間層43としており、各ファブリーペロー干渉計毎に中間層厚を変えて透過光波長を調整している。これにより光スペクトルアナライザとして機能する。もちろんアレイ数が多い方が、分解能は

良くなる。

【0050】なお、下部分布型ブラグ反射器41及び上部分布型ブラグ反射器42の構成は、前述した第1の実施の形態と同様であり、屈折率の大きなSiN膜と屈折率の小さなSiON膜をそれぞれ複数ペア成膜した多層膜で構成されている。

【0051】図6に白色光を図5の光スペクトルアナライザ(中心波長630nm)に入射したときの、中間層厚と透過光波長の関係を示す。なおここで、中間層は低屈折率層のSiON層(屈折率 $n:1.50$)であり、その層厚を189.0nmから218.4nm迄変えて610nmから640nm迄の波長をカバーしている。半値幅1nmの波長分解能に優れた波長フィルタである。但し、本実施の形態の8個のアレイでは、カバーできる波長領域が狭いので、アレイ数を増やし、より広範囲な波長をカバーできるように膜構成を設計することが望ましい。

【0052】次に、図7を用いて、第2の実施の形態の光スペクトルアナライザの中間層を、ファブリーペロー干渉計毎に変える方法について説明する。まず、図7(A)の如くフォトダイオード35を形成したSi基板31に下部分布型ブラグ反射器41を形成し、その下部分布型ブラグ反射器41上にSiON中間層43を、検出する波長領域の最長波長に対応する厚さで成膜しておく。これを同図(B)乃至(E)に示す如くステップ状にエッチングしていく。エッチングは1/20に薄めたBHFで行い、エッチングマスク45はレジストとした。ある膜厚の領域をそれぞれ2分割していくと、エッチング回数 N に対して 2^N のステップが形成される。ここでは3回のエッチングにより図示したように8ステップを作製し、8個の異なる中間層厚を持つファブリーペロー干渉計のアレイを形成している。

【0053】この第2の実施の形態によれば、1つのフォトダイオード35に1組の分布型ブラグ反射器41, 42が対応して形成され、これらがアレイとして構成されていることにより、個々独立して検出波長を選択でき、かつ複数の波長を同時検出可能である。

【0054】図8に、本発明の第3の実施の形態として、シリコン基板51に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された下部及び上部分布型ブラグ反射器により構成されるファブリーペロー干渉計との組からなる光検出部52を、前記下部及び上部分布型ブラグ反射器を隔てる中間層の層厚を変えてシリコン基板51に複数配列して複数の波長を検出するセル(画素)53を構成し、該セル53をシリコン基板51に多数平面的に配列した絶対波長検出型CCD撮像素子の概略を示す。ここで、個々のファブリーペロー干渉計を構成する分布型ブラグ反射器は、第1の実施の形態で示した如く屈折率の大きなSiN膜と屈折率の小さなSiON膜をそれぞれ複数ペア成膜した多層膜で構成さ

れ、下部及び上部分布型ブラグ反射器間は第2の実施の形態と同様に固定層厚のSiON中間層としている。ここでは、中間層厚が互いに異なったファブリーペロー干渉計を集積してなる光検出部52を16個並べて1つのセル53を形成し、更にこれを多数配列して平面的アレイにしている。従って、通常の固体撮像素子が光を赤、緑、青の3原色に分解して取り込んでいたのに対し、本実施の形態では、1つのセル53内で下部及び上部分布型ブラグ反射器を隔てる中間層厚に対応する16の波長に分解してカラー画面を取り込むことができる。これにより、認識するカラー画面の確度が向上する。もちろん、1つのセル内の、中間層厚の異なる光検出部52を増やすことで、さらに多くの波長に分解することも可能である。

【0055】前記中間層厚は、可視領域の光をカバーするように400nm～700nmまでの波長領域を20nm間隔に分割し、計16点の波長を1画素内で検出できるようにしている。但し、同じ膜厚構成の分布型ブラグ反射器の組を用いたファブリーペロー干渉計で中間層厚のみを変えても、全ての波長領域をカバーすることはできないので、下部及び上部分布型ブラグ反射器の膜構成を4通りとし（膜厚を4種類とする）、各膜構成について中間層厚を4種類として計16の波長の光を検出している。

【0056】図8にはまた、CCDのアドレッシング用の周辺回路54と、アンプ、A/Dコンバータ、マルチプレクサ等のデータ読み出しのための周辺回路55も示してある。各セル53で検出した光により生じた電荷は、通常のCCDと同様にデータとして図示した方向に流れ、周辺回路で処理される。

【0057】図9に検出波長を16チャンネルとしたときのスペクトルを示す。なお、ここでは全ての波長の可視光に対して感度を持たせるため、敢えて分解能を下げ、分布型ブラグ反射器におけるペア数は4ペアとしている。

【0058】この第3の実施の形態によれば、各セル53は複数設けられた光検出部52の下部及び上部分布型ブラグ反射器を隔てる中間層厚に対応する波長にそれぞれ分解してカラー画面を取り込むことができ、認識するカラー画面の確度を向上させることが可能であり、1つのセル内の、中間層厚の異なる光検出部52の個数を増やすことで、さらに多くの波長に分解することも可能である。

【0059】図10には、本発明の第4の実施の形態として、第3の実施の形態のCCD撮像素子の固定中間層をエアギャップに置き換えた絶対波長検出型CCD撮像素子の概略を示している。この場合は、可変エアギャップとなっている1つのファブリーペロー干渉計とフォトダイオードとからなる波長選択型光検出部が1つのセル（画素）63に対応し、セル63がSi基板61上に多

数平面的に配列されている。各セル63は第1の実施の形態と同様の構成であればよい。また、周辺回路として、図8の第3の実施の形態と同様に、CCDのアドレッシング用の周辺回路64と、アンプ、A/Dコンバータ、マルチプレクサ等のデータ読み出しのための周辺回路65が設けられている。但し、各セル63にエアギャップを変化させるための交流電圧を印加し、下部及び上部分布型ブラグ反射器間を1kHz程度の周波数で振動させて光を検出するために、CCDのアドレッシング用の周辺回路64にエアギャップ調整駆動電圧を発生する回路を付加する必要がある。

【0060】この場合、周辺回路64より各セル63に交流電圧を印加することにより下部及び上部分布型ブラグ反射器間を1kHz程度の周波数で振動させて光を検出する。つまり、各瞬間が波長に対応することになり、その時間をモニターすることにより、検出した光と、その光の波長そのものを対応させることができる。これにより、認識するカラー画面の確度が向上する。

【0061】なお、各セル63で検出した光により生じた電荷は、通常のCCDと同様にデータとして図示した方向に流れ、周辺回路で処理される。

【0062】上記した各実施の形態の分布型ブラグ反射器において、高屈折率膜としてSiN膜、低屈折率膜としてSiON膜を例示したが、低屈折率膜としてSiO₂膜を用いてもよいし、他の膜構成とすることも可能である。

【0063】以上本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明はこれに限定されることなく請求項の記載の範囲内において各種の変形、変更が可能なのは当業者には自明であろう。

【0064】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、マイクロマシニングによりSi基板上に作製した、2つの分布型ブラグ反射器をミラーとするファブリーペロー干渉計をフォトダイオードと集積化することにより、波長分解能に優れた小型の波長フィルタを持つ波長選択型光検出器を実現できる。また、ファブリーペロー干渉計アレイとフォトダイオードアレイを集積化することにより、波長分解能に優れた小型のスペクトルアナライザ、あるいは絶対波長を検出できるCCD撮像素子を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る波長選択型光検出器の第1の実施の形態を示す概略斜視図である。

【図2】第1の実施の形態の波長選択型光検出器の作製方法を示す説明図である。

【図3】第1の実施の形態の波長選択型光検出器の波長分解能と積層数の関係を示すグラフである。

【図4】第1の実施の形態の波長選択型光検出器のエアギャップを変化させたときの波長と透過光強度の関係を

示すグラフである。

【図5】本発明の第2の実施の形態であって、小型光スペクトルアナライザを示す概略斜視図である。

【図6】第2の実施の形態に示した小型光スペクトルアナライザの中間層厚と透過光強度の関係を示すグラフである。

【図7】第2の実施の形態に示した小型光スペクトルアナライザの中間層をステップ状にする方法を示す説明図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態であって、中間層固定のファブリーペロー干渉計をアレイにした絶対波長検出型のCCD撮像素子を示す概略斜視図である。

【図9】第3の実施の形態による絶対波長検出型のCCD撮像素子のスペクトルを示すグラフである。

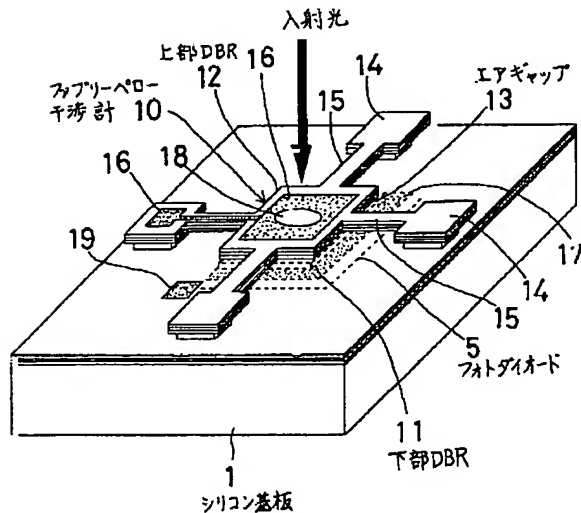
【図10】本発明の第4の実施の形態であって、中間層がエアギャップのファブリーペロー干渉計をアレイにした絶対波長検出型のCCD撮像素子を示す概略斜視図である。

【符号の説明】

- 1, 31, 51, 61 シリコン基板
5, 35 フォトダイオード
10, 40 ファブリーペロー干渉計

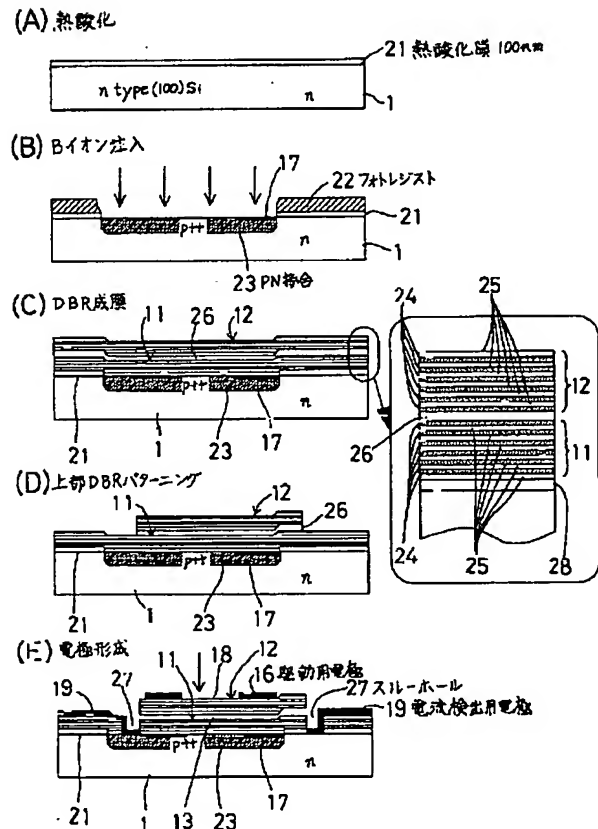
- 11, 41 下部分布型ブラッグ反射器
12, 42 上部分布型ブラッグ反射器
13 エアギャップ
14 アンカー
15 可撓性アーム
16 可動側駆動用電極
17 固定側駆動用電極
18 透過光窓
19 光電流検出用電極
21 シリコンオキシサイド層
22 フォトレジスト
23 PN接合
24 シリコンナイトライド膜
25 シリコンオキシサイドナイトライド膜
26, 43 中間層
27 電極用スルーホール
28 バッファ層
45 エッチングマスク
52 光検出部
53, 63 セル
54, 55, 64, 65 周辺回路

【図1】

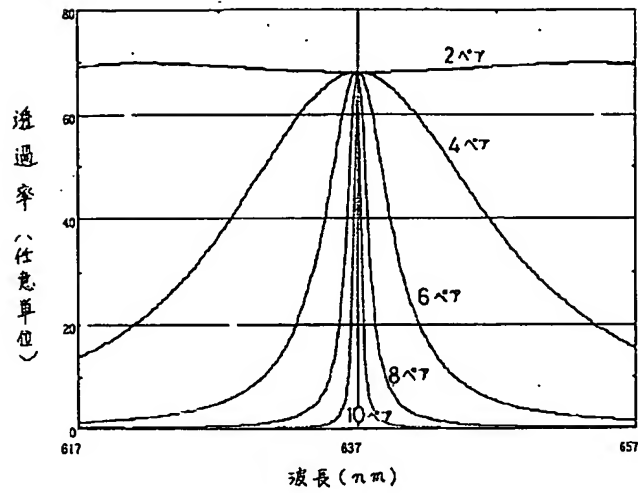


16, 17: 駆動用電極

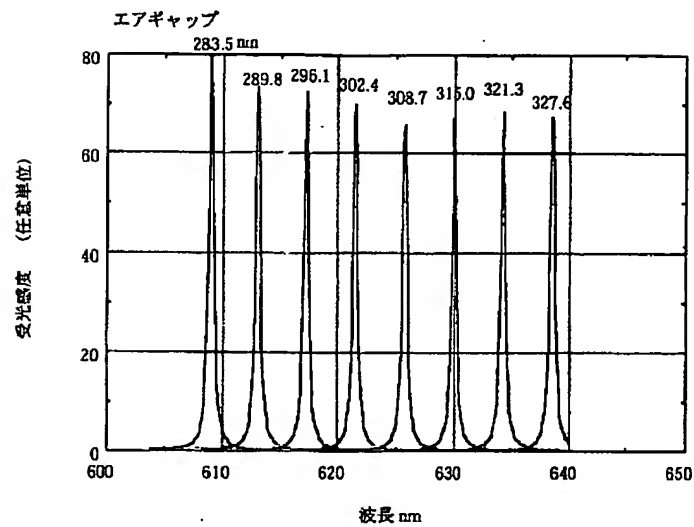
【図2】



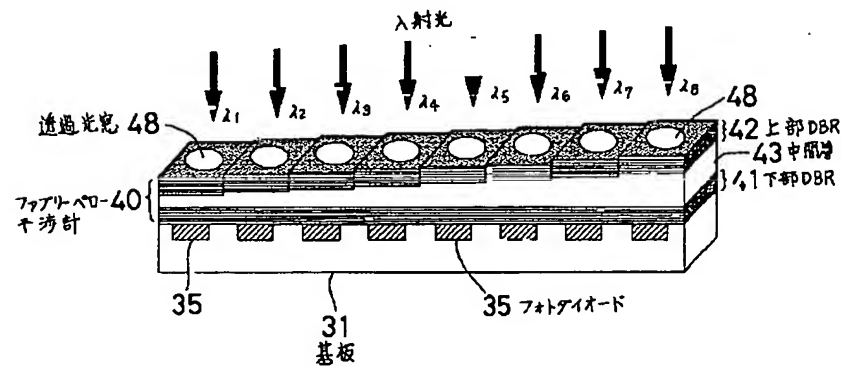
【図3】



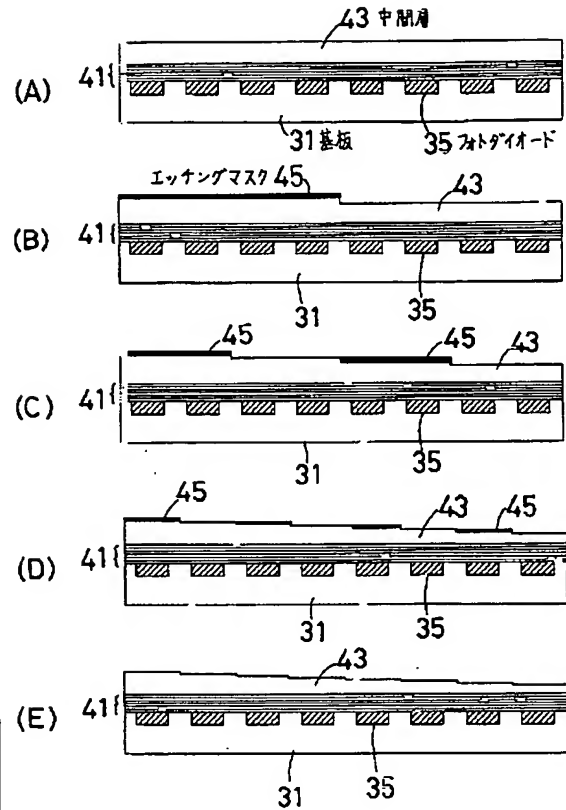
【図4】



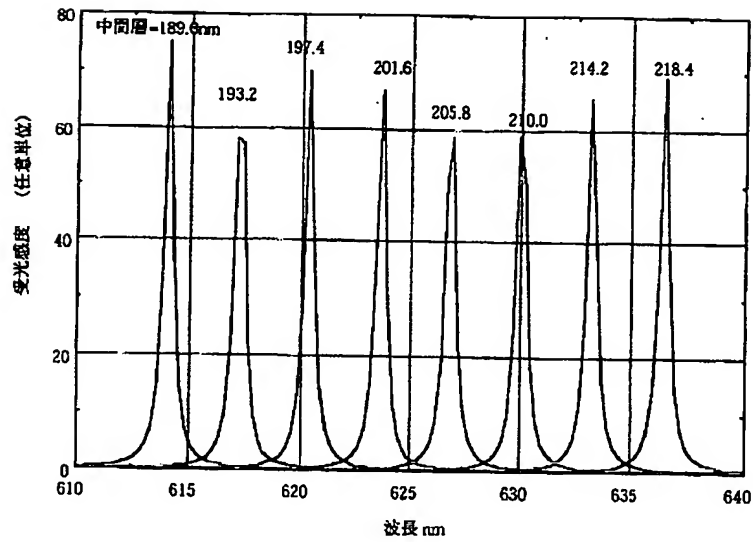
【図5】



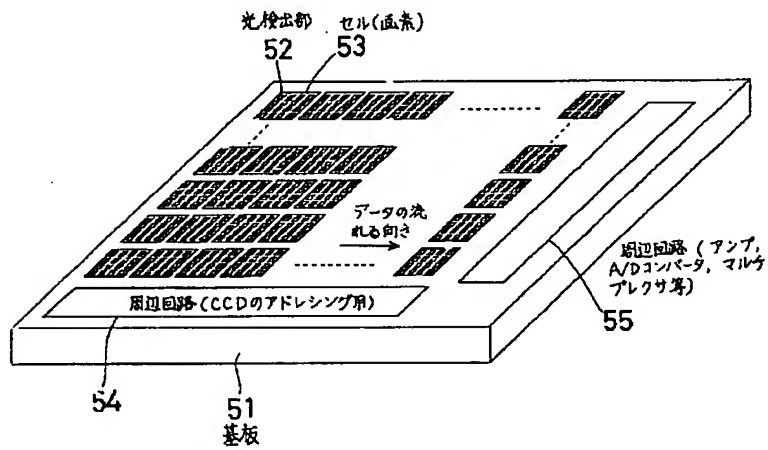
【図7】



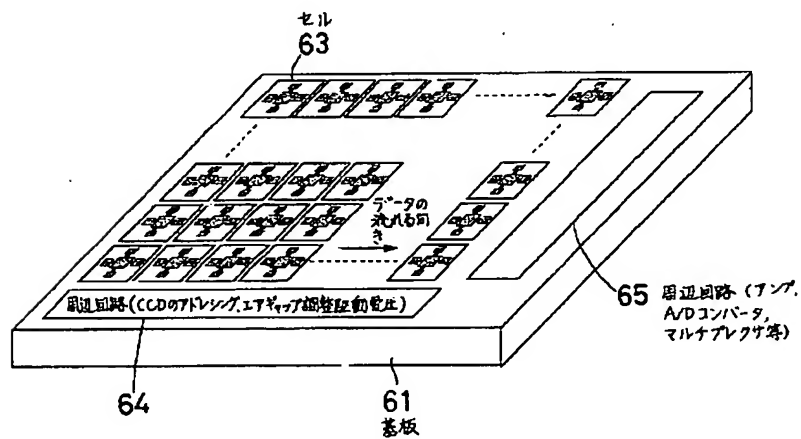
【図6】



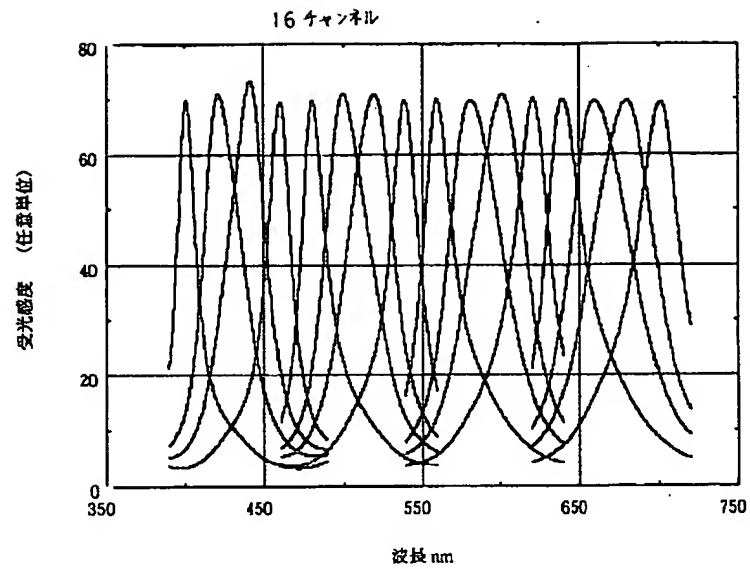
【図8】



【図10】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 篠浦 治
東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー
ディーケー株式会社内

Fターム(参考) 2G020 CA12 CB43 CC11 CC23 CC26
CD03 CD24
5F088 AA01 AB02 BA20 BB06 DA17
EA06 GA04 GA07 GA09 HA06
HA07 HA09